

**PERAMALAN BEBAN PUNCAK PEMAKAIAN LISTRIK DI AREA SEMARANG
DENGAN METODE *HYBRID* ARIMA (*AUTOREGRESSIVE INTEGRATED
MOVING AVERAGE*)-ANFIS (*ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*)
(Studi Kasus di PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY)**

Ana Kristiana¹, Yuciana Wilandari², Alan Prahutama³

¹Mahasiswa Jurusan Statistika FSM Universitas Diponegoro

^{2,3}Staff Pengajar Jurusan Statistika FSM Universitas Diponegoro

anakristiana94@gmail.com, yuciana.wilandari@gmail.com, alan.prahutama@gmail.com

ABSTRACT

Electricity become one of the basic needs in society, so that the demand level for electricity even bigger as more complex activities in society. In order to fulfill the needs of electricity in Indonesia, PT PLN have to do electrical peak load forecasting to prevent electrical crisis. In this research, we use *hybrid* ARIMA-ANFIS methods to forecast daily peak load of electricity in Semarang period December 2014 until January 2015. The use of *hybrid* ARIMA-ANFIS is to capture both linear and nonlinear patterns in the data, because sometimes time series data can contain both linear and nonlinear patterns. Since ARIMA can not deal with nonlinear patterns while ANFIS is not able to handle both linear and nonlinear patterns alone. The accuracy of the model was measured by symmetric MAPE (sMAPE) criteria, in which the best model chosen is the model with the smallest sMAPE value. The results showed that the *hybrid* ARIMA-ANFIS model that used to predict the daily peak load electricity in Semarang during the period of December 2014 until January 2015, comes from combination between SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ model and residual forecasting with ANFIS model using first lag input, *Gaussian* membership function in 3 clusters.

Keywords: Electricity, Electrical peak load forecasting, ARIMA, ANFIS, *Hybrid* ARIMA-ANFIS.

1. PENDAHULUAN

Kehidupan masyarakat sangat bergantung kepada sumber daya energi, salah satunya adalah energi listrik. Pertumbuhan ekonomi, perkembangan dunia industri, pertambahan jumlah penduduk, serta pesatnya kemajuan teknologi merupakan penyebab utama dalam peningkatan jumlah penggunaan listrik di Indonesia. Fenomena peningkatan kebutuhan listrik di masyarakat saat ini mengharuskan PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) selaku penyalur utama listrik ke masyarakat, perlu melakukan perencanaan operasi dan perencanaan sistem pengembangan tenaga listrik untuk mengetahui seberapa besar daya listrik yang harus disalurkan ke konsumen agar daya listrik yang ditransmisikan tepat sasaran dan tepat ukuran. Pemenuhan energi listrik di Indonesia, salah satunya di wilayah pelayanan Kota Semarang terkadang mengalami masalah, yaitu ditunjukkan dengan adanya pemadaman listrik yang sering dilakukan. Hal ini mengindikasikan adanya kekurangan stok energi listrik.

Besar energi listrik yang dikonsumsi oleh konsumen skala industri maupun rumah tangga di area Semarang, tercatat secara otomatis dan tersaji menjadi data historis beban pemakaian listrik harian per 30 menit selama 24 jam yang dinamakan data beban puncak pemakaian listrik. Menurut Mujiman dan Priyosusilo (2012), data beban puncak listrik adalah data beban pemakaian energi listrik maksimal yang tercatat berdasarkan waktu yaitu, harian, mingguan, maupun bulanan. Data historis beban puncak ini berguna sebagai informasi bagi PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah dan DIY untuk memprediksi besar daya yang harus disediakan di masa mendatang, sehingga dalam penyediaannya tidak terjadi pemborosan listrik yang dapat mengakibatkan kerugian.

Terdapat banyak teknik yang dapat digunakan untuk peramalan, diantaranya yaitu *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA), regresi linier, dan Jaringan Syaraf

Tiruan (JST). Namun terdapat beberapa kelemahan pada metode peramalan *time series* seperti ARIMA, diantaranya yaitu menghasilkan *error* yang besar, ketidakstabilan data, dan asumsi linieritas yang sering tidak terpenuhi. Sedangkan pada metode JST, terdapat salah satu metode yang merupakan gabungan dari metode jaringan syaraf tiruan dan *fuzzy inference system* yaitu menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Penggunaan metode ANFIS tidak membutuhkan asumsi independen, homoskedastisitas dan residual berdistribusi normal yang sering tidak dijumpai pada data sehingga metode ini dinilai sesuai untuk meramalkan data yang mempunyai nilai ekstrem (Faulina dan Suhartono, 2013).

Pada penelitian ini, akan dilakukan studi kasus untuk memprediksi beban puncak listrik di area Semarang dengan menggunakan metode *hybrid* ARIMA dan ANFIS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan metode peramalan terbaik antara metode ARIMA, ANFIS, dan *hybrid* ARIMA-ANFIS untuk meramalkan beban puncak pemakaian listrik di area Semarang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*)

Model ARIMA merupakan gabungan antara model AR dan MA dengan *differencing* orde d . Menurut Wei (2006), bentuk umum dari model ARIMA (p, d, q) adalah

$$\phi_p(B) (1-B)^d Z_t = \theta_q(B) a_t \quad (1)$$

Bila data yang digunakan mengandung pola musiman, maka model yang digunakan adalah model ARIMA musiman. Menurut Wei (2006), secara umum bentuk model *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA (p, d, q)(P, D, Q)^S) adalah

$$\phi_p(B) \Phi_P(B^S) (1-B)^d (1-B^S)^D Z_t = \theta_q(B) \Theta_Q(B^S) a_t \quad (2)$$

dimana

$$\begin{aligned} \phi_p(B) &= 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \\ \Phi_P(B^S) &= 1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_P B^{PS} \\ \theta_q(B) &= 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \\ \Theta_Q(B^S) &= 1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q B^{QS} \end{aligned}$$

Penentuan model ARIMA yang digunakan untuk meramalkan suatu data dikenal dengan prosedur *Box-Jenkins*. Terdapat empat tahapan pada prosedur *Box-Jenkins* yaitu tahapan identifikasi model, estimasi parameter, pemeriksaan diagnostik, dan peramalan.

2.2. ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*)

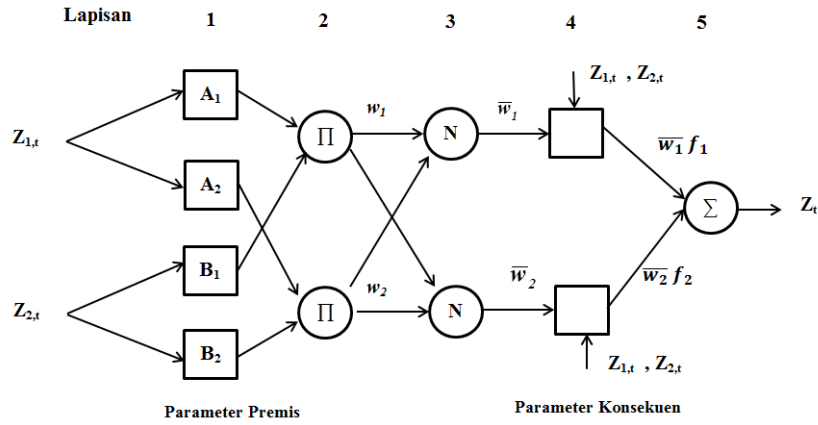
Jaringan adaptif berbasis sistem inferensi *fuzzy* atau biasa disebut dengan ANFIS merupakan jaringan syaraf tiruan yang menerapkan sistem inferensi *fuzzy* dengan model Takagi Sugeno Kang (TSK) (Wati, 2011).

Jika dimisalkan terdapat dua *input* yaitu $Z_{1,t}$ dan $Z_{2,t}$ dan sebuah *output* berupa Z_t dengan sistem inferensi *fuzzy* model TSK, maka aturan yang dipakai pada model adalah sebagai berikut:

Aturan 1: If $Z_{1,t}$ is A_1 and $Z_{2,t}$ is B_1 then $f_1 = p_1 Z_{1,t} + q_1 Z_{2,t} + r_1$

Aturan 2: If $Z_{1,t}$ is A_2 and $Z_{2,t}$ is B_2 then $f_2 = p_2 Z_{1,t} + q_2 Z_{2,t} + r_2$

Menurut Kusumadewi dan Hartati (2006) ANFIS terdiri atas satu lapisan *input*, tiga lapisan tersembunyi, dan satu lapisan *output*, penjelasan pada masing-masing lapisan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Arsitektur ANFIS

Lapisan 1 (Fuzzifikasi Input)

Setiap simpul j di lapisan (*layer*) ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul (neuron):

$$O_{1,j} = \mu_{A_j}(Z_{1,t}) \quad \text{untuk } j=1,2 \quad (3)$$

$$O_{1,j} = \mu_{B_j}(Z_{2,t})$$

dengan $O_{1,j}$ adalah derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* (A_1, A_2, B_1, B_2) atau *output* dari lapisan 1 ke- j . Misalkan fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan

Gauss, $\mu(Z) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{Z-\mu}{\sigma} \right)^2}$, dengan μ dan σ adalah parameter premis.

Lapisan 2 (Operasi Logika Fuzzy)

Lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol Π) dengan keluarannya berupa perkalian semua sinyal yang masuk, yaitu

$$O_{2,j} = w_j = \mu_{A_j}(Z_{1,t}) \cdot \mu_{B_j}(Z_{2,t}), \quad j=1,2 \quad (4)$$

Lapisan 3 (Normalized Firing Strength)

Tiap neuron pada lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol N), dengan rumus:

$$O_{3,j} = \bar{w}_j = \frac{w_j}{w_1 + w_2}, \quad \text{untuk } j=1,2 \quad (5)$$

Lapisan 4 (Defuzzifikasi)

Pada lapisan ke-4 merupakan simpul adaptif dengan fungsi simpul sebagai berikut

$$O_{4,j} = \bar{w}_j f_j = \bar{w}_j (p_j Z_{1,t} + q_j Z_{2,t} + r_j) \quad (6)$$

dengan p_j, q_j, r_j merupakan himpunan parameter konsekuen dari simpul ini.

Lapisan 5 (Perhitungan Output)

Lapisan 5 merupakan simpul tunggal dengan fungsi sebagai berikut:

$$O_{5,j} = \sum_j \bar{w}_j f_j = \frac{\sum_j w_j f_j}{\sum_j w_j} \quad (7)$$

Pada saat parameter premis ditemukan, *output* yang terjadi akan merupakan kombinasi linier dari parameter konsekuen. Algoritma *hybrid* akan mengatur parameter-parameter konsekuen secara maju (*forward*) dengan metode *Least Square Estimator* (LSE) dan

mengatur parameter premis secara mundur (*backward*) dengan metode *backpropagation gradient descent*.

2.3. Hybrid ARIMA-ANFIS

Model hibrida adalah suatu metode kombinasi dari satu atau lebih model dalam fungsi suatu sistem. Menurut Zhang (2003), secara umum kombinasi model runtun waktu yang memiliki struktur linier dan nonlinier dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z_t = L_t + N_t \quad (8)$$

dimana L_t menunjukkan komponen linier dan N_t menunjukkan komponen nonlinier. Model ARIMA digunakan untuk menyelesaikan kasus yang linier, dimana residual yang linier masih mengandung informasi hubungan nonlinier. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$e_t = Z_t - \hat{L}_t \quad (9)$$

dimana \hat{L}_t adalah nilai *forecast* pada waktu t dan Z_t adalah data awal waktu ke- t . Langkah selanjutnya adalah memodelkan residual dari model ARIMA menggunakan ANFIS. Hasil ramalan dari metode ANFIS kemudian dikombinasikan dengan hasil ramalan metode ARIMA. Secara matematis, hasil ramalan keseluruhan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$\hat{Z}_t = \hat{L}_t + \hat{N}_t \quad (10)$$

2.4. Pemilihan Model Terbaik

Dalam Makridakis dan Hibon (2000), salah satu ukuran yang digunakan untuk mengukur ketepatan adalah sMAPE (*symmetric Mean Absolute Percentage Error*). Dengan menggunakan sMAPE, permasalahan mengenai besarnya *error* ketika nilai dari Z_t mendekati nol dan besarnya perbedaan antara nilai mutlak *error* ketika Z_t lebih besar dari \hat{Z}_t atau sebaliknya dapat dihindari.

$$sMAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|Z_t - \hat{Z}_t|}{(Z_t + \hat{Z}_t)/2}}{n} \times 100\% \quad (11)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini berupa data sekunder tentang Pemantauan Beban Puncak Harian Trafo Gardu Induk Distribusi Jateng & DIY tahun 2014. Variabel data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data total beban puncak pemakaian listrik (dalam satuan MW) harian trafo gardu induk di area Semarang dengan data *in-sample* adalah data periode 1 Januari 2014 sampai 30 November 2014 sebanyak 334 *series* dan data *out-sample* adalah data periode bulan Desember 2014 sebanyak 31 *series*.

3.2. Metode Analisis

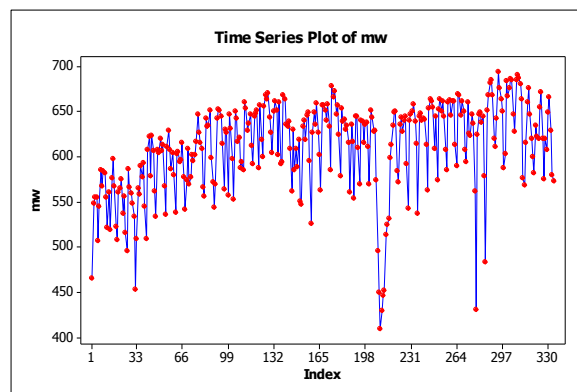
Menurut Khashei *et al.* (2009) dalam Faulina dan Suhartono (2013), peramalan dengan model *hybrid* ARIMA-ANFIS, meliputi:

1. Membagi data menjadi data *in sample* dan data *out sample*
2. Pemodelan linear, yaitu pemodelan ARIMA dengan residual *white noise*. Model ARIMA yang digunakan sebagai level pertama di pemodelan hibrida adalah model ARIMA terbaik.
3. Pemodelan nonlinear, yaitu pemodelan residual ARIMA dengan ANFIS.
4. Tahap kombinasi, yaitu menjumlahkan langkah (1) dan (2)
5. Mendapatkan ramalan data *testing* dari model hibrida berdasarkan tahap (3) sehingga diperoleh ramalan hibrida ARIMA-ANFIS.
6. Menghitung sMAPE data *out-sample*
7. Menentukan model terbaik berdasarkan nilai sMAPE terkecil

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

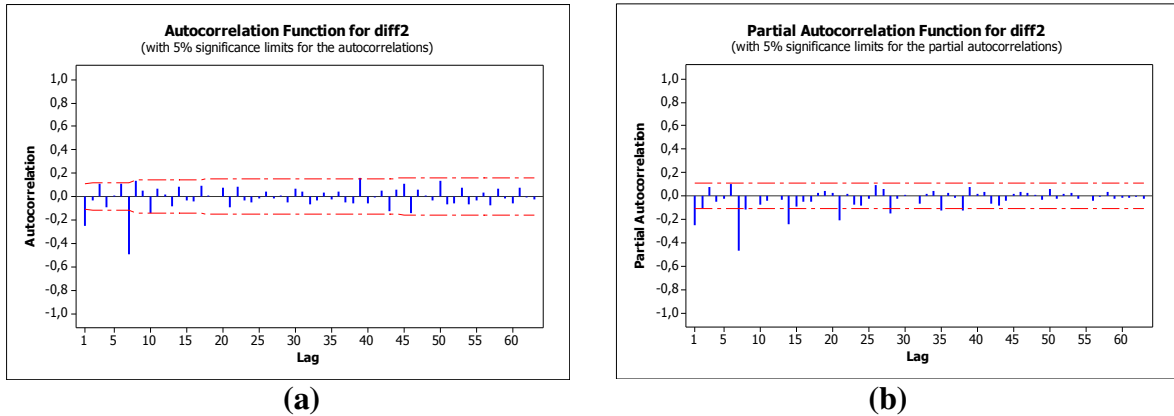
4.1. Pemodelan Data Beban Puncak Harian Listrik dengan ARIMA

Berdasarkan plot runtun waktu pada Gambar 2, terlihat bahwa data beban puncak harian listrik di area Semarang belum stasioner dan diduga mengandung komponen musiman 7 harian.



Gambar 2. Plot Time Series Data Beban Puncak Harian Listrik pada Januari 2014 sampai dengan November 2014

Selanjutnya untuk mengetahui lebih jelas dan pasti apakah data sudah stasioner dalam mean maupun varian, dilakukan uji formal berupa uji *Dickey Fuller* untuk menguji stasioneritas dalam mean dan uji Bartlett untuk menguji stasioneritas dalam varian. Pada uji Bartlett diperoleh nilai $p\text{-value} = 0,078 > \alpha (5\%)$, sehingga proses dikatakan telah stasioner dalam varian. Sedangkan pada uji Dickey-Fuller diperoleh nilai $\text{Prob} (0,7547) > \alpha(0,05)$, sehingga proses dikatakan tidak stasioner dalam mean dan perlu dilakukan differensi. Setelah dilakukan differensi non-musiman dan musiman, pada uji Dickey Fuller diperoleh nilai $\text{Prob} (0,0000) < \alpha (0,05)$ maka proses telah stasioner dalam mean. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data beban puncak harian listrik yang telah didifferensi sudah stasioner dalam mean dan varian.



Gambar 3. (a) Plot ACF Hasil Differensi dan (b) Plot PACF Hasil Differensi

Kemudian diduga model runtun waktu dengan melihat plot ACF dan PACF. Plot ACF pada Gambar 3a, terlihat *cut off* pada lag 1, 3, 6, dan 8 serta pada lag musiman yaitu lag kelipatan 7. Sedangkan plot PACF pada Gambar 3b, terlihat *cut off* lag 1, 2, 6, dan 8 serta pada lag musiman yaitu lag kelipatan 7. Dari beberapa pendugaan model diperoleh 3 model yang parameternya signifikan yang selanjutnya dilakukan pemeriksaan diagnostik dan perhitungan sMAPE pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Signifikansi Parameter dan Pemeriksaan Diagnostik Data Beban Puncak Listrik

Model	Signifikansi Parameter	Independensi	Homokedastisitas	Normalitas	sMAPE
SARIMA (1,1,1)(0,1,1) ⁷	x	√	x	x	7,0100 %
SARIMA (1,1,0)(0,1,1) ⁷	√	√	X	x	7,1959 %
SARIMA (0,1,1)(0,1,1) ⁷	√	√	x	x	6,9666 %

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ dengan nilai sMAPE data *out sample* terkecil, dengan persamaan:

$$Z_t = Z_{t-1} + Z_{t-7} - Z_{t-8} - 0,30821a_{t-1} - 0,78555a_{t-7} + 0,24211a_{t-8} + a_t$$

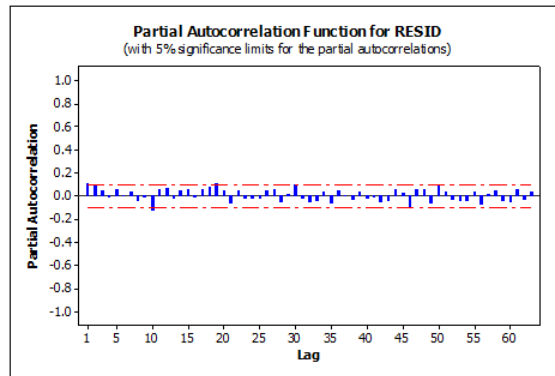
Namun model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ tidak dapat digunakan untuk meramalkan beban puncak harian listrik di area Semarang, karena tidak memenuhi asumsi homoskedastisitas residual atau terdapat efek ARCH/GARCH pada data. Walaupun tidak memenuhi asumsi homoskedastisitas residual, model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ dapat digunakan untuk melakukan peramalan non linier menggunakan permodelan *hybrid* ARIMA – ANFIS untuk meramalkan *error/residual* data dari model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ yang tidak memenuhi asumsi homoskedastisitas residual.

4.2. Pemodelan Data Beban Puncak Harian Listrik dengan *Hybrid* ARIMA-ANFIS

Berdasarkan analisis ARIMA diperoleh model terbaik yang digunakan dalam peramalan beban puncak harian listrik, yaitu model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ dapat dituliskan sebagai berikut

$$Z_t = Z_{t-1} + Z_{t-7} - Z_{t-8} - 0,30821a_{t-1} - 0,78555a_{t-7} + 0,24211a_{t-8} + a_t$$

Kemudian membuat plot PACF dari residual yang diperoleh dari model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ tersebut, untuk melihat lag yang *cut off*. Plot PACF yang terlihat pada Gambar 4, *cut off* pada lag ke-1, 10, dan 19. Oleh karena itu digunakan input lag 1, 10, dan 19 sebagai input pada permodelan ANFIS untuk meramalkan residual dari model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷.



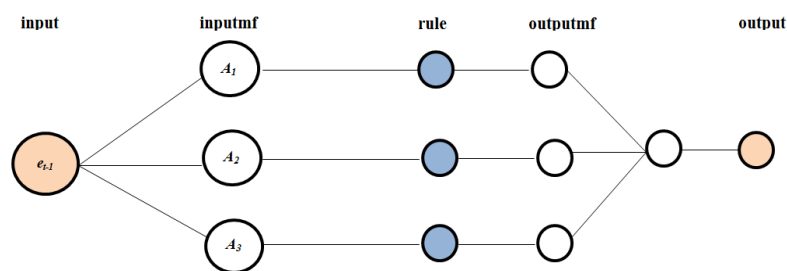
Gambar 4. Plot PACF Residual SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷

Peramalan residual model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ dengan ANFIS, dilakukan dengan input lag 1, 10, dan 19, jumlah keanggotaan sebanyak 2 dan 3, menggunakan cluster FCM, dan fungsi keanggotaan *Gaussian*. Berdasarkan pada Tabel 2, model ANFIS yang paling sesuai untuk meramalkan beban puncak pemakaian listrik di area Semarang periode Desember 2014 dan Januari 2015 adalah ANFIS dengan *input* lag 1, dengan fungsi keanggotaan *Gaussian* dan jumlah cluster sebanyak 3.

Tabel 2. Input *Hybrid* ARIMA-ANFIS

Model	Input	sMAPE	
		Jumlah Keanggotaan 2	Jumlah Keanggotaan 3
1	e_{t-1}	6,3936 %	6,0954 %
2	e_{t-10}	6,8306 %	6,8799 %
3	e_{t-19}	6,8124 %	6,8423 %
4	e_{t-1}, e_{t-10}	6,7045 %	6,4541 %
5	e_{t-1}, e_{t-19}	6,6277 %	6,4995 %
6	e_{t-10}, e_{t-19}	6,8782 %	6,7242 %
7	$e_{t-1}, e_{t-10}, e_{t-19}$	6,6725 %	6,5682 %

Setelah mendapatkan nilai awal parameter premis pada layer 1, maka akan didapatkan nilai derajat keanggotaan variabel *input* yang selanjutnya digunakan untuk proses fuzzifikasi. Pada penelitian ini dipilih jumlah keanggotaan sebanyak 3 dan cluster FCM adalah sebanyak 3 *rule*.



Gambar 5. Struktur *Hybrid* ARIMA-ANFIS

Pada Gambar 5 terlihat bahwa, variabel *input* terbagi menjadi 3 kelompok dan terhubung dalam suatu *rule*. Adapun *rule* yang terbentuk adalah sebagai berikut:

1. Jika e_{t-1} adalah kelompok A_1 , maka $e_t^{(1)} = p_1 e_{t-1} + r_1$
2. Jika e_{t-1} adalah kelompok A_2 , maka $e_t^{(2)} = p_2 e_{t-1} + r_2$
3. Jika e_{t-1} adalah kelompok A_3 , maka $e_t^{(3)} = p_3 e_{t-1} + r_3$

Tabel 3. Nilai Parameter Premis Hasil Pembelajaran

Kelompok	Input I (e_{t-1})
1	$\sigma_{11} = 15,10$ $\mu_{11} = -4,099$
2	$\sigma_{12} = 18,01$ $\mu_{13} = -26,67$
3	$\sigma_{13} = 17,11$ $\mu_{13} = 17,58$

Parameter premis yang didapatkan melalui proses pembelajaran *hybrid* ditunjukkan pada Tabel 3. Fungsi *Gaussian* yang terbentuk untuk mendapatkan derajat keanggotaan dengan nilai parameter pada Tabel 3 dapat dituliskan secara matematis seperti berikut ini:

$$\begin{aligned}
 1. \quad f_{11}(e_{t-1}; \sigma_{11}, \mu_{11}) &= \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{e_{t-1} + 4,099}{15,10} \right)^2 \right\} \\
 2. \quad f_{12}(e_{t-1}; \sigma_{12}, \mu_{12}) &= \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{e_{t-1} + 26,67}{18,01} \right)^2 \right\} \\
 3. \quad f_{13}(e_{t-1}; \sigma_{13}, \mu_{13}) &= \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{e_{t-1} - 17,58}{17,11} \right)^2 \right\}
 \end{aligned}$$

Selain parameter premis juga dihasilkan parameter konsekuen pada layer 4 yang meminimumkan *error*. Tiap *rule* mempunyai fungsi yang berbentuk linier. Parameter konsekuen hasil iterasi yang diperoleh melalui algoritma pembelajaran adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad e_t^{(1)} &= 1,367e_{t-1} + 17,83 \\
 2. \quad e_t^{(2)} &= -0,4045e_{t-1} - 10,18 \\
 3. \quad e_t^{(3)} &= 0,9364e_{t-1} - 37,16
 \end{aligned}$$

Berdasarkan parameter konsekuen yang terbentuk, model peramalan beban puncak harian yang diperoleh dengan menggunakan ANFIS adalah sebagai berikut:

$$\hat{e}_t = \bar{w}_{1t}(1,367e_{t-1} + 17,83) + \bar{w}_{2t}(-0,4045e_{t-1} - 10,18) + \bar{w}_{3t}(0,9364e_{t-1} - 37,16)$$

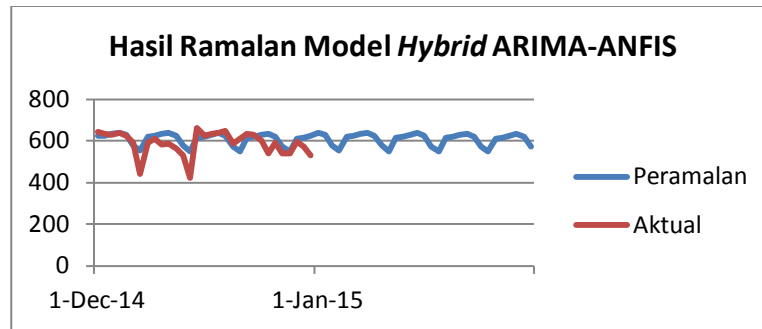
dengan

$$\begin{aligned}
 \bar{w}_{jt} &= \frac{w_{jt}}{w_1 + w_2 + w_3} \\
 w_{jt} &= f_{1j}(e_{t-1}; \sigma_{1j}, \mu_{1j})
 \end{aligned}$$

Hasil ramalan akhir untuk model *hybrid* ARIMA-ANFIS beban puncak harian listrik di area Semarang merupakan gabungan dari permodelan SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ dengan residual yang dimodelkan dengan ANFIS, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \hat{Z}_{1t} &= Z_{t-1} + Z_{t-7} - Z_{t-8} - 0,30821a_{t-1} - 0,78555a_{t-7} + 0,24211a_{t-8} + a_t \\
 \hat{Z}_{2t} &= \bar{w}_{1t}(1,367e_{t-1} + 17,83) + \bar{w}_{2t}(-0,4045e_{t-1} - 10,18) + \bar{w}_{3t}(0,9364e_{t-1} - 37,16) \\
 Z_t &= \hat{Z}_{1t} + \hat{Z}_{2t}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dari model *Hybrid* ARIMA-ANFIS tersebut digunakan untuk meramalkan beban puncak harian listrik di areaperiode Desember 2014 dan Januari 2015, yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hasil Ramalan Data Beban Puncak Listrik dengan *Hybrid ARIMA-ANFIS*

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh model terbaik yang digunakan untuk memprediksi beban puncak harian listrik di area Semarang selama periode Desember 2014 sampai Januari 2015 adalah model *hybrid ARIMA-ANFIS*. Model ini merupakan gabungan dari model SARIMA (0,1,1)(0,1,1)⁷ dan ramalan residual model ANFIS yang menggunakan input lag 1, fungsi keanggotaan *Gaussian* sebanyak 3 cluster, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_{1t} &= Z_{t-1} + Z_{t-7} - Z_{t-8} - 0,30821a_{t-1} - 0,78555a_{t-7} + 0,24211a_{t-8} + a_t \\ \hat{Z}_{2t} &= \bar{w}_{1t}(1,367e_{t-1} + 17,83) + \bar{w}_{2t}(-0,4045e_{t-1} - 10,18) + \bar{w}_{3t}(0,9364e_{t-1} - 37,16) \\ Z_t &= \hat{Z}_{1t} + \hat{Z}_{2t}\end{aligned}$$

5.2. Saran

Saran yang diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan yaitu, penggunaan analisis ARIMA ARCH/GARCH apabila asumsi homoskedastisitas residual data tidak terpenuhi, sehingga diperoleh hasil peramalan yang dapat dibandingkan dengan hasil peramalan dari analisis ANFIS dan *hybrid ARIMA – ANFIS* untuk menentukan metode peramalan terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Faulina, R., dan Suhartono. 2013. *Hybrid ARIMA-ANFIS for Rainfall Prediction in Indonesia*. International Journal of Science and Research (IJSR) Vol. 2, Issue 2: Hal. 159-162.
- Kusumadewi, S., dan Hartati, S. 2006. *Neuro Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Makridakis, S., dan Hibon, M. 2000. *The M3-Competition: Results, Conclusions, and Implications*. International Journal of Forecasting, 16: Hal. 451-476.
- Mujiman dan Priyosusilo, L. 2012. *Permodelan bebanpuncak Gardu Induk Waters dengan Program Aplikasi Microsoft Excel*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III.
- Wati, D.A.R. 2011. *Sistem Kendali Cerdas: Fuzzy Logic Controller (FLC), Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Algoritma Genetik (AG), dan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods*. Canada: Addison Wesley Publishing Company.
- Zhang, G. P. 2003. *Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model*. Neurocomputing, 50: Hal. 159-175.